

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

# **MODELO ECONOMETRICO DE DETERMINAÇÃO DO PREÇO DO OURO**

ALEXANDRE METELLO DE CASTRO SANTOS  
matrícula nº: 105.038.499

ORIENTADOR(A): Prof. . Eduardo Pontual Ribeiro, Ph.D.

MARÇO 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

# **MODELO ECONOMETRICO DE DETERMINAÇÃO DO PREÇO DO OURO**

---

ALEXANDRE METELLO DE CASTRO SANTOS  
matrícula nº: 105.038.499

ORIENTADOR: Prof. Eduardo Pontual Ribeiro, Ph.D.

MARÇO 2009

*As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(a) autor(a)*

Em memória de Eulália “Lalá” Sophia Metello.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador, Eduardo Pontual, pela atenção e apoio, sem os quais este trabalho não seria possível; ao Roberto Castello Branco pelas inúmeras oportunidades e influência de sua erudição; à Fernanda Senna e Theo Penedo, pelos ensinamentos e sugestões; à minha namorada pelo companheirismo; e à minha família, pelo constante incentivo à minha formação.

## **RESUMO**

O presente trabalho objetiva analisar o mercado de ouro e construir um modelo econométrico capaz de explicar o comportamento do preço do ouro nos últimos trinta e oito anos e projetar o preço do metal para os próximos quatro anos, 2009-2012. Os resultados obtidos apontam para uma elevação do preço do metal em um cenário de forte incerteza e enfraquecimento da produção das minas.

## ÍNDICE

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I - O MERCADO DO OURO .....</b>	<b>10</b>
I.1 - HISTÓRIA .....	10
I.2 - OFERTA .....	11
I.2.1 - Minas .....	12
I.2.2 - Sucatas .....	14
I.2.3 - Bancos Centrais .....	14
I.3 - DEMANDA .....	15
I.3.1 - Indústria .....	16
I.3.2 - De-hedging do produtor .....	17
I.3.3 - Investimento e estocagem de barras .....	17
<b>CAPÍTULO II - O MODELO DE DETERMINAÇÃO DO PREÇO DO OURO.....</b>	<b>18</b>
II.1 – REVISÃO TEÓRICA.....	18
II.1.1 – Estacionaridade dos processos estocásticos.....	18
II.1.2 – Testes de estacionaridade .....	20
II.1.3 – Transformação de séries temporais não-estacionárias .....	21
II.2 – CONSTRUÇÃO DO MODELO .....	22
<b>CAPÍTULO III - PREVISÕES .....</b>	<b>25</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>APÊNDICE ESTATÍSTICO .....</b>	<b>29</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>35</b>

## INTRODUÇÃO

A recente crise financeira mundial e o consequente alto grau de incerteza vem elevando dramaticamente a volatilidade dos mercados financeiros e afetando fortemente os preços dos ativos financeiros, especialmente ações. De fato, em 2008 o índice VIX médio, que mede a volatilidade implícita nos mercados acionários mundiais se elevou 78%, enquanto que o índice S&P 500 médio se retraiu 38%.

Além disso, em meados de 2008, alguns dos principais índices de inflação ao consumidor registraram suas maiores altas nos últimos anos, tanto em países desenvolvidos como nas economias emergentes. Esse cenário, no entanto, vem sofrendo forte reversão a medida em que o enfraquecimento da demanda mundial somado ao alto grau de capacidade instalada da indústria, fruto do recente ciclo de expansão econômica, faz com que os preços se retraiam, em especial o de *commodities*, algumas tendo seus preços fortemente correlacionados com o nível da atividade industrial.

Nesse contexto, alguns ativos são reconhecidamente fontes para se reduzir a exposição à forte volatilidade gerada por esse cenário de elevada incerteza e alta dos preços. Esse é o caso do ouro. De fato, o preço médio do ouro em 2008 se valorizou 25% para US\$ 872/oz frente o preço médio de 2007, de US\$ 697/oz. Além disso, em março de 2008, diante de um cenário de aceleração da inflação mundial e de forte desvalorização do dólar norte americano, o preço nominal do ouro atingiu seu fechamento máximo histórico, cotado a US\$ 1.002,95 no dia 14 de março.

O objetivo desse estudo é analisar o mercado do ouro bem como seus participantes e os principais fins do produto, de forma que se possa construir um modelo econométrico de séries temporais capaz de explicar a formação do preço desta *commodity*. Posteriormente, pretende-se gerar previsões de preços para o curto e médio prazo. Mais especificamente, para os anos de 2009 até 2012.

Trabalhamos com a hipótese de que por ser uma *commodity* com reconhecida função de reserva de valor, o ouro tem seu preço fortemente explicado por variáveis macroeconômicas e financeiras, tais como a inflação e a variação do dólar americano frente outras moedas.



Além desta introdução, este trabalho possui três capítulos e uma conclusão. No primeiro capítulo é analisado o mercado do ouro em geral, iniciando por uma breve revisão histórica seguida pela determinação de seus componentes de oferta e demanda. No segundo capítulo constrói-se o modelo de séries temporais de determinação do preço do ouro. Primeiramente, faz-se uma revisão teórica dos principais elementos e testes de econometria de séries temporais necessários para a construção do modelo. No terceiro capítulo, utilizamos o modelo para gerar previsões de preços médios anuais para até quatro anos a frente. Concluimos com uma breve análise acerca do futuro e expectativas para o mercado.

## **CAPÍTULO I - O MERCADO DO OURO**

O preço do ouro começou a declinar fortemente a partir da década de 80 e manteve-se assim até o final dos anos 90. As elevadas vendas dos Bancos Centrais, que possuíam parte relevante das reservas acima da terra de ouro, foram determinantes para esse cenário. A assinatura do *Central Bank Gold Ageement* (CBGA), um acordo entre bancos centrais limitando a venda de ouro em reserva, e as crescentes dificuldades para extração mineral, tais como elevação de custos, foram fundamentais para a forte alta observada nos últimos oito anos no preço do metal. Espera-se que o preço do ouro mantenha sua tendência de alta em 2009, refletindo, dentre outros fatores, um cenário de forte instabilidade financeira nos mercados mundiais.

### ***1.1 - História***

O conhecimento da história do ouro possui relativa importância na determinação do metal devido a uma de suas principais características: sua durabilidade. Teoricamente, todo o ouro já minado durante a história ainda existe de alguma forma. Diferentemente de outros metais, o ouro pode ser reaproveitado quase que em sua totalidade, contribuindo assim para sua formação de estoque acima da terra.

Desde a antiguidade o ouro é reconhecido como sinal de status e poder. Suas características principais – sua raridade, durabilidade, cor dourada, maleável e de difícil reação com outros elementos químicos – contribuíram muito para essa condição. Sua utilização como jóia e moeda data do surgimento das primeiras cidades, por volta de 3000 aC, na antiga Suméria, atualmente sul do Iraque e na ilha de Creta. Além disso, inúmeras referências ao metal são feitas no Antigo Testamento.

Até meados do século XX, o ouro só era de fato utilizado para as funções de jóia e moeda. A partir de então, o metal passou a ser largamente utilizado na indústria, principalmente eletrônica.

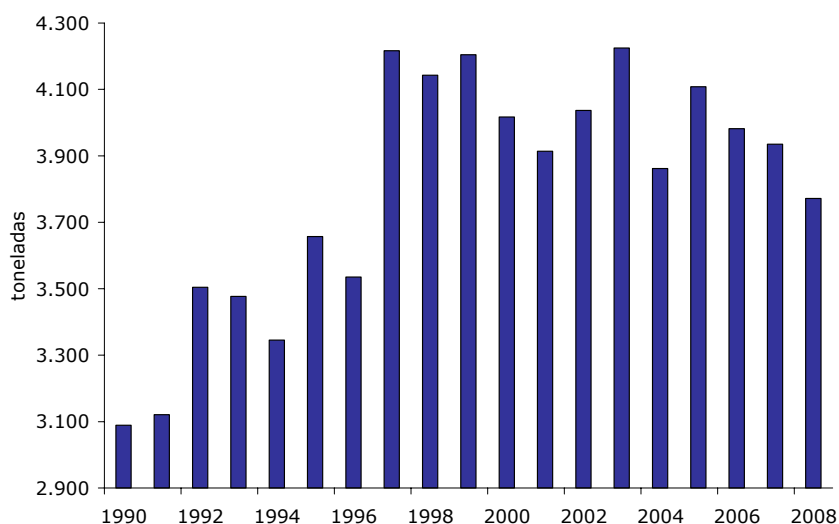
Atualmente, devido a sua difícil divisibilidade e locomoção, o ouro como moeda de troca é cada vez menos utilizado, guardando ainda, no entanto, algumas de suas funções mais antigas, como jóia e reserva de valor. Esta última, muito difundida entre investidores que

buscam no metal uma proteção em momentos de grandes turbulências e volatilidade nos mercados financeiros<sup>1</sup>.

## 1.2 - Oferta

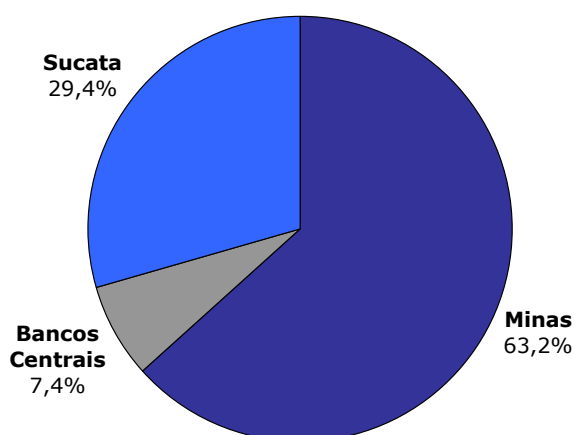
A maior fonte de oferta é a extração das minas, que em 2008 representou 63% da oferta total, ou 2.385 toneladas. A venda de sucatas aparece como o segundo componente mais relevante da oferta, com participação de 29%. Os Bancos Centrais contribuíram com 7% da oferta com a venda de parte de suas reservas. Não houve venda de outros estoques no ano. A oferta total de ouro em 2008 foi de 3.772 toneladas, uma queda de 4,1% com relação ao ano anterior.

**Figura 1: Oferta mundial de ouro**



Fonte: GFMS

<sup>1</sup> BUTTERMAN, W.C.; AMEY III, Earle B. Mineral Commodity Profiles – Gold. Reston, Virginia, EUA. US Geological Survey, 2005 (Open-File Report 02-303), p.1.

**Figura 2: Composição da oferta total de ouro em 2008**

Fonte: GFMS

### 1.2.1 - Minas

A produção mundial de ouro proveniente de minas em 2008 foi de 2.385 toneladas, um decréscimo de 3,6% com relação ao ano anterior. Os maiores produtores no ano foram China, Estados Unidos, África do Sul e Austrália, que juntos, responderam por cerca de 41% da produção mundial. Nos últimos dez anos, o crescimento médio da extração de ouro das minas foi de 0,09%.

**Tabela 1: Maiores produtores de ouro em 2008**

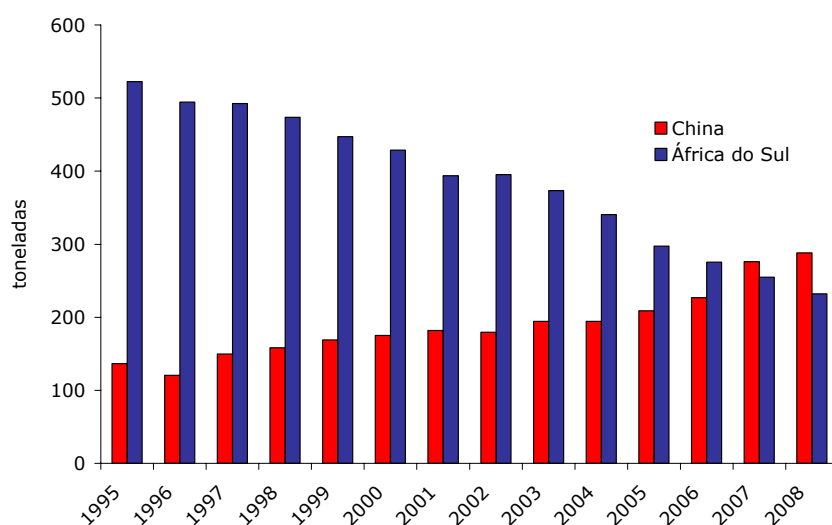
Produtores	Toneladas	% do mundo
China	288	12,1
EUA	234	9,8
África do Sul	232	9,7
Austrália	225	9,4
Peru	175	7,3
Rússia	164	6,9
Canadá	100	4,2
Indonésia	90	3,8
Outros	826	34,6
<b>Total</b>	<b>2.385</b>	<b>100,0</b>

Fonte: GFMS

A África do Sul, que desde o fim do século XIX era o maior produtor de ouro, perdeu o posto para a China, que em 2007 atingiu a marca de 276 toneladas contra 272 toneladas do país africano. Em 2008, a África do Sul passou a ser o terceiro maior produtor, ultrapassado também pelos EUA.

A alta da produção chinesa nos últimos anos foi estimulada, principalmente, pela elevação do preço do ouro, o que tornou viável a exploração de minas menos eficientes, em geral pequenas e semi-privadas – a China possui mais de 1.000 mineradoras de ouro, sendo que nenhuma delas figura entre as cinco maiores produtoras do mundo. A falta de preocupação e fiscalização ambiental também contribui para redução dos custos dessas mineradoras. Além disso, o processo de liberalização da economia chinesa, com a abertura da Bolsa de Ouro de Xangai em 2002 e o aumento da renda per capita do País também contribuíram para a elevação do consumo, o que fomenta a “corrida” do ouro na China.

**Figura 3: Produção chinesa X produção sul-africana**



Fonte: GFMS

No primeiro semestre de 2008, a extração de ouro foi parcialmente suspensa nas minas sul-africanas devido ao corte de energia para o setor industrial em favor do abastecimento das cidades por parte da Eskon, a provedora estatal de energia sul-africana. Essa “crise” reflete, principalmente, os problemas de infra-estrutura do setor energético do País que não vêm conseguindo acompanhar o ritmo da demanda, impulsionada pelo forte crescimento da economia e pelas instalações de indústrias intensivas em energia, como siderúrgicas, por exemplo.

A mineradora canadense Barrick Gold é a maior produtora mundial de ouro. Em 2008, a empresa produziu, aproximadamente, 217 toneladas contra 147 toneladas da americana Newmont Mining. A terceira maior produtora de ouro em 2007 foi a AngloGold Ashanti, da África do sul, com 141 toneladas extraídas.

### I.2.2 - Sucatas

Teoricamente, o ouro é indestrutível, ou seja, todo o ouro já extraído das minas ainda existe. Além disso, o ouro possui a característica de poder ser facilmente derretido e transformado em barras novamente e realocado no mercado. Esse tipo de ouro “reaproveitado” é denominado sucata. A maior parte das sucatas são originárias de jóias. O resto vem de partes recuperadas de eletrônicos, moedas e barras com outros fins.

As vendas de sucatas tendem a se elevar em períodos de enfraquecimento econômico ou seguindo uma alta do preço do metal.

A venda de sucatas é uma fonte de oferta reconhecidamente difícil de ser prevista. No entanto, a manutenção do preço do ouro em níveis elevados, deve contribuir para que as vendas permaneçam fortes em 2009. Em 2008, as vendas totalizaram 1.108 toneladas, alta de 13,4% com relação ao ano anterior.

### I.2.3 - Bancos Centrais

Os Bancos Centrais mantêm grande parte de suas reservas em ouro. Segundo o Fundo Monetário Internacional (FMI), em dezembro de 2008, o Federal Reserve era o banco central com maior volume do metal em reserva, com 8.133,5 toneladas, seguido pelos bancos centrais da Alemanha, França, Itália e Suíça. O Banco Central do Brasil ocupava a 48ª posição em volume de ouro em reserva, com 33,6 toneladas. No total, os bancos centrais possuem 29.697 toneladas de ouro. O Banco Central da Grécia é o banco com maior proporção de ouro em suas reservas totais, com 93% do metal.

**Tabela 2: Reservas de ouro dos Bancos Centrais<sup>2</sup>**

<b>Produtores</b>	<b>Toneladas</b>	<b>% das reservas mundiais<sup>3</sup></b>
Estados Unidos	8.133,5	27,4
Alemanha	3.421,6	11,5
França	2.508,8	8,4
Itália	2.451,8	8,3
Suíça	1.040,1	3,5
Japão	765,2	2,6
Holanda	621,4	2,1
China	600,0	2,0
BCE	533,6	1,8
<b>Mundo</b>	<b>29.697,1</b>	<b>100,0</b>

Fonte: World Gold Council

<sup>2</sup> World Gold Council; *Official Gold Holdings* (dezembro de 2008); p.1-2

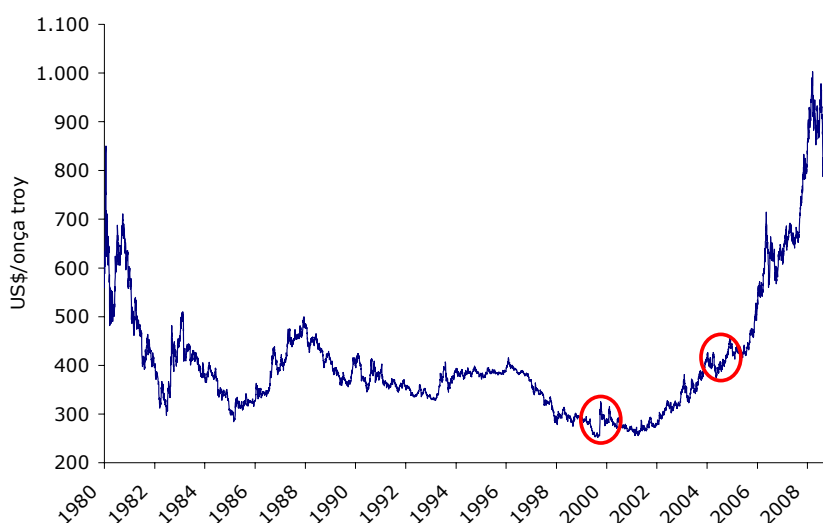
<sup>3</sup> Incluindo as reservas do FMI

### ***Central Bank Gold Agreement***

Em 1999, com o aumento das preocupações com relação ao descendente preço do ouro, quinze bancos centrais da Europa assinaram o *Central Bank Gold Agreement* (CBGA)<sup>4</sup>. Os bancos centrais, na época, detinham cerca de um quarto de todas as reservas naturais de ouro até então conhecidas, de forma que as vendas desordenadas dos bancos contribuiriam para queda ainda maior do preço do ouro que já havia perdido 70% de seu valor desde seu pico em 1980. Dentre as medidas adotadas, destaca-se a estipulação de uma cota máxima de venda anual de ouro por parte dos bancos centrais. Os participantes poderiam vender juntos, no máximo 400 toneladas por ano, totalizando assim, 2.000 toneladas durante cinco anos, quando o acordo seria revisto. O preço nominal do ouro reagiu ao CBGA de forma positiva e iniciando o atual ciclo de alta do preço do metal.

A revisão do CBGA<sup>5</sup> foi feita em 2004 e a única grande mudança foi o aumento da cota máxima de venda coletiva, de 400 toneladas por ano para 500 toneladas.

**Figura 4: Preço nominal diário do ouro e o CBGA**



Fonte: GFMS

### **1.3 - Demanda**

O ouro é usado em sua maior parte para a indústria, que em 2008 demandou cerca de 75% do total, na qual a fabricação de jóias destaca-se como a maior demandante do metal. As operações de *de-hedging* dos produtores desfeitas contribuíram com 9,2% para a demanda

<sup>4</sup> *The Central Bank Gold Agreement (CBGA)*; Press Communiqué, 26 de setembro 1999

<sup>5</sup> ECB Press release – Joint Statement on Gold, 8 de março de 2004.

total. A estocagem tanto na forma de barras como para investimentos representam 10,2% e 5,8%, respectivamente.

**Figura 5: Composição da demanda total de ouro em 2008**

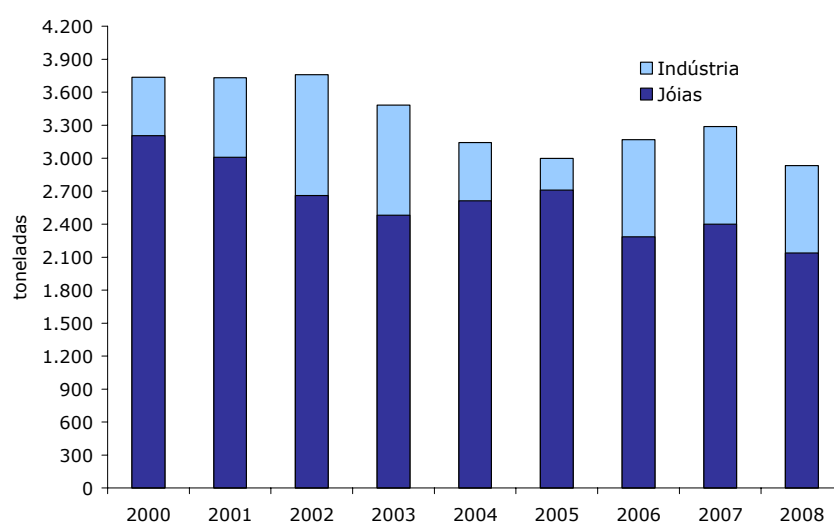


Fonte: GFMS

### I.3.1 - Indústria

A principal utilização do ouro na indústria é o setor joalheiro, respondendo por cerca de 75% da produção manufatureira. Além do setor joalheiro, o ouro também é usado na indústria de aparelhos eletrônicos, fabricação de moedas e do setor dentário. Em 2008, a demanda industrial por ouro caiu 8,1%, influenciada, principalmente pela queda da demanda por jóias, refletindo um cenário de desaceleração do crescimento da renda per capita mundial.

**Figura 6: Evolução da demanda industrial e de jóias**



Fonte: GFMS



### **I.3.2 - De-hedging do produtor**

Operações de *de-hedging* são operações onde os produtores de ouro recompram suas posições de ouro, previamente vendidas no mercado futuro, de forma a proteger sua receita. Esse movimento de recompra no mercado futuro atua como uma fonte de demanda.. A queda do preço nominal do ouro na década de 90 levou muitos produtores a abrirem posições vendidas em ouro. A partir de 2000, a mudança de tendência do preço do ouro fez com que alguns produtores comesçassem mudar suas posições no mercado futuro.

### **I.3.3 – Investimento e estocagem de barras**

Investidores que buscam a proteção de seu patrimônio contra a inflação e a desvalorização do dólar americano, além da forte volatilidade de curto prazo de outros ativos financeiros, são grandes demandantes de ouro como investimento e estocagem de barras. Além disso, o ouro também é tido como um bom investimento no longo prazo. Esse tipo de demanda, que representa cerca de 16% da demanda total, tende a se elevar em períodos de elevada incerteza e enfraquecimento da economia global. Em 2008, a demanda por ouro para fins de investimento e estocagem de barras se elevou cerca de 45% frente ao ano de 2007. Espera-se que este componente da demanda permaneça a crescer em 2009, devido ao cenário de forte retração da economia global e a consequente desvalorização de outros ativos financeiros, principalmente ações.

## **CAPÍTULO II - O MODELO DE DETERMINAÇÃO DO PREÇO DO OURO**

Neste capítulo estimaremos um modelo a fim de explicar a formação do preço do ouro. Primeiramente, no entanto, é feita uma revisão teórica dos principais conceitos e testes necessários para a estimação de um modelo econométrico de séries temporais, de forma que a estimação da regressão que segue utilizará os tópicos abordados nessa parte inicial.

### ***II.1 – Revisão teórica***

Um dos tipos de modelos mais importantes e amplamente utilizados na análise empírica é o de séries temporais. Sua importância se dá na medida em que muitas variáveis econômicas geralmente são explicados por eventos passados. Desse modo, diferentemente de modelos lineares, onde a ordem das observações é irrelevante para a análise, em séries temporais a ordem em que os dados são colocados no tempo é fundamental para a formação da variável a ser explicada. No entanto, a análise econométrica de séries temporais exige alguns estudos e testes importantes para sua utilização de forma apropriada.

#### **II.1.1 – Estacionaridade dos processos estocásticos**

Uma condição necessária para a correta análise dos dados em séries temporais é a condição de estacionaridade das séries. Segundo D. Gujarati, um processo estocástico estacionário é

um conjunto de variáveis aleatórias ordenadas no tempo de forma que sua média e variância sejam constantes ao longo do tempo e quando o valor da covariância entre dois períodos de tempo depende apenas da distância, do intervalo ou da defasagem entre os dois períodos de tempo, e não do próprio tempo em que a covariância é calculada.<sup>6</sup>

A definição acima trata de um processo estocástico fracamente estacionário. Existe ainda o processo estocástico estritamente estacionário. Para nossas finalidades nesse trabalho, no entanto, a utilização da estacionaridade fraca é suficiente, de forma que quando citarmos um processo estacionário, estamos tratando de um processo fracamente estacionário.

---

<sup>6</sup> GUJARATI, D. “Econometria Básica”. Campus, 4ª edição, 2006, p.660.

Seja  $Y_t$  uma série temporal estocástica, então:

$$\begin{aligned}\text{Média:} & E(Y_t) = \mu \\ \text{Variância:} & \text{var}(Y_t) = E(Y_t - \mu)^2 = \sigma^2 \\ \text{Covariância:} & \gamma_k = E[(Y_t - \mu)(Y_{t+k} - \mu)]\end{aligned}$$

Todavia, frequentemente nos deparamos com séries temporais não-estacionárias. Preços de ativos financeiros como ações, taxas de câmbio e o próprio ouro geralmente são não-estacionários. O exemplo mais conhecido de um processo não-estacionário é o passeio aleatório.

Supondo que  $u_t$  é um termo de erro de ruído branco com média 0 e variância  $\sigma^2$ . Então:

$$Y_t = \alpha + Y_{t-1} + u_t \quad (1)$$

onde  $\alpha$  é o parâmetro de deslocamento. De (1) podemos escrever:

$$Y_1 = \alpha + Y_0 + u_1$$

$$Y_2 = \alpha + Y_1 + u_2 = \alpha + \alpha + Y_0 + u_1 + u_2$$

Generalizando, temos:

$$Y_t = \alpha t + Y_0 + \sum u_t \quad (2)$$

Assim, pode-se mostrar que:

$$E(Y_t) = E(\alpha t + Y_0 + \sum u_t) = \alpha t + Y_0 \quad (3)$$

De forma análoga:

$$\text{var}(Y_t) = t\sigma^2 \quad (4)$$

Como podemos claramente observar pelas equações (3) e (4), um modelo de passeio aleatório não satisfaz as condições de constância da média e da variância no tempo.

A detecção de processos não-estacionários é fundamental para evitar erros e conturbações no modelo como a autocorrelação e/ou a regressão espúria, de forma que é necessário que saibamos como tornar uma série não-estacionária em uma série estacionária.

### II.1.2 – Testes de estacionaridade

Existem alguns testes para a detecção da não-estacionaridade de séries temporais, de forma que destacaremos algumas das mais simples e usuais utilizadas na análise de séries de tempo.

A primeira e mais simples é a análise gráfica. Espera-se que um processo estacionário reverta a média, de forma que esta seja constante no tempo. Como já citado anteriormente, séries econômicas (PIB, produção industrial, índices de inflação etc.) geralmente apresentam tendência, indicando que suas médias mudam ao longo do tempo.

Outro teste largamente utilizado para detecção de raiz unitária é o *teste Dickey-Fuller* (DF). Partindo de um processo estocástico de raiz unitária temos:

$$Y_t = \beta Y_{t-1} + u_t \quad (5)$$

Se  $\beta = 1$ , então (5) é um passeio aleatório (sem deslocamento), ou seja, um processo estocástico não-estacionário. Dessa forma, fazemos uma regressão de  $Y_t$  em relação ao seu valor defasado. Se  $\beta = 1$ , então estamos diante de um processo não estacionário.

Ao manipularmos (5), podemos obter:

$$Y_t - Y_{t-1} = \beta Y_{t-1} - Y_{t-1} + u_t = (\beta - 1) Y_{t-1} + u_t \quad (6)$$

Que pode ser escrita como:

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + u_t \quad (7)$$

Onde  $\delta = (\beta - 1)$  e  $\Delta$  é o operador de primeiras diferenças. Logo, ao estimarmos (7), estamos interessados em saber se  $\delta = 0$ . Caso a igualdade se verifique, então  $\beta = 1$ . No entanto, a regressão de (7) não pode ser feita utilizando o teste  $t$  usual. Sob a hipótese de  $\beta = 1$ , o valor  $t$  do coeficiente estimado não segue a distribuição normal  $t$ .

Dessa forma, utilizamos a estatística tau ( $\tau$ ), calculada por Dickey e Fuller. Se a hipótese de  $\delta = 0$  for rejeitada a série temporal é estacionária, pois estaremos rejeitando a hipótese de  $\beta = 1$ .

### **II.1.3 – Transformação de séries temporais não-estacionárias**

Ao concluirmos que estamos trabalhando com uma série não-estacionária, devemos saber como torná-la uma série estacionária de forma a não incorremos nos erros já citados acima. O método adotado para a transformação das series dependerá de sua natureza estacionária.

Se o processo em questão for considerado um processo estacionário em diferenças, basta que tomemos a regressão em primeiras diferenças da série temporal. Se uma série tem raiz unitária, sendo estacionária em diferenças, as primeiras diferenças dessa série serão estacionárias.

O processo não-estacionário, no entanto, pode ser um processo estacionário em tendências, ou em torno da linha de tendência. Nesse caso, devemos estimar a regressão em relação ao tempo, e os resíduos dessa regressão serão estacionários.

Cabe ressaltar que séries econômicas geralmente possuem natureza estacionária em diferenças.

No entanto, se estivermos trabalhando com duas ou mais variáveis igualmente não-estacionárias, podemos estar diante de um caso onde os resíduos gerados pela regressão do modelo é estacionário, ou seja,  $I(0)$ . Nesse caso a regressão faz sentido, ou seja, não é uma regressão espúria, não sendo necessária a estimação em primeiras diferenças das séries. Quando esse caso se verifica, dizemos que as variáveis em questão são co-integradas, mantendo uma relação de longo prazo entre elas.

Existem alguns métodos para a verificação da estacionaridade ou não dos resíduos. Um método bastante simples é a aplicação do teste DF nos resíduos. Simplesmente estimamos uma regressão com as variáveis não-estacionárias e aplicamos o teste DF nos resíduos.

Esse método de determinação de co-integração é conhecido como *teste de Engle-Granger*, uma vez que os valores críticos do teste DF quando aplicado aos resíduos foram calculados por Engle e Granger.

## II.2 – Construção do modelo

Conforme mencionado no capítulo introdutório, trabalharemos com a hipótese de que a demanda total por ouro é determinada por fatores além da produção de produtos que possuem o ouro como matéria prima, de modo que esses fatores possuem forte influência na determinação do preço do metal. Para a construção do modelo, utilizamos dados médios anuais desde 1971 até 2008. As fontes de dados foram o Fundo Monetário Internacional (FMI), o *US Bureau of Labor Statistics*, a GFMS e a Bloomberg. Todas as regressões e testes foram rodadas no EViews.

Estimamos a seguinte regressão em log<sup>7</sup>:

$$\log \text{OURO}_t = \alpha + \beta \log \text{SDR}_t + \delta \log \text{CPI}_t + \sigma \log \text{PROD}_t + u_t \quad (8)$$

onde  $\text{OURO}_t$  é o preço nominal médio do ouro no ano  $t$ ;  $\text{SDR}_t$  são as cotações médias das *Special Drawing Rights* dos Estados Unidos, que são as reservas internacionais do País no Fundo Monetário Internacional, uma *proxy* da taxa de câmbio efetiva do dólar americano frente a uma cesta de moedas estrangeiras no ano  $t$ ;  $\text{CPI}_t$  é o índice de inflação médio dos Estados Unidos no ano  $t$ ;  $\text{PROD}_t$  é a produção global de ouro no ano  $t$ ;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ , e  $\sigma$  são os parâmetros a serem estimados; e  $u_t$  é o erro gerado pela equação.

A reconhecida função de reserva de valor que o ouro possui faz com que em períodos de desvalorização do USD, investidores busquem proteger seu patrimônio comprando o metal. Assim, é de se esperar que uma depreciação do dólar americano, aqui representada pela SDR, frente outras moedas provoque uma apreciação no preço nominal do ouro.

Da mesma forma, uma aceleração da inflação deve provocar uma corrida pelo metal por parte dos investidores visando proteger seu patrimônio contra uma eventual perda do poder de compra.

---

<sup>7</sup> Foram testadas outras variáveis macroeconômicas como taxa de juros, produção industrial e PIB, no entanto, nenhuma se mostrou estatisticamente significativa.

A produção global de ouro por sua vez deve possuir uma relação negativa com o preço do metal.

Antes de estimarmos o modelo, no entanto, devemos nos atentar para os testes mencionados e discutidos no tópico anterior deste capítulo. Devemos nos assegurar de que estamos trabalhando com séries de temporais estacionárias ou co-integradas. Para isso, faremos os devidos testes.

Aplicaremos o teste Dickey-Fuller Aumentado (ADF) em nível com constante e tendência (tabelas A-1 a A-4 do apêndice estatístico). A aplicação do teste confirma a presença de raiz unitária em todas as séries, uma vez que as estatísticas tau ( $\tau$ ) em módulo são inferiores aos valores críticos a 1%, 5% e 10%, de forma que devemos aceitar a hipótese nula de raiz unitária das séries em questão.

Após a constatação de raiz unitária para as séries a serem utilizadas na regressão, devemos fazer testes de co-integração. A aplicação do teste de *Engle-Granger* (tabela A-5 do apêndice estatístico) para a equação (8) nos permite concluir que estamos diante de uma regressão co-integrante, sendo possível a estimação do modelo sem ser preciso tomar as primeiras diferenças e sem incorrerem no erro de relação espúria. Note que foi necessária a inclusão de um termo defasado da variável dependente para corrigir a autocorrelação dos erros.

Assim, passamos a estimar o seguinte modelo:

$$\log \text{OURO}_t = \alpha + \gamma \log \text{OURO}_{t-1} + \beta \log \text{SDR}_t + \delta \log \text{CPI}_t + \sigma \log \text{PROD}_t + u_t \quad (9)$$

onde  $\gamma$  é o novo parâmetro co-integrante a ser estimado do termo da variável dependente defasada.

A tabela abaixo mostra os resultados da estimação do modelo pelo método de estimação de mínimos quadrados.

**Tabela 2: Coeficientes estimados**

Variável	Coeficiente	Prob.
C	7,714362**	0,0001
OURO <sub>t-1</sub>	0,559354**	0,0000
SDR	-1,156614**	0,0015
CPI	0,732349**	0,0090
PROD	-1,188621**	0,0007

Todas as variáveis explicativas se mostraram significativas para um intervalo de até 1%. Conforme esperávamos, a taxa de câmbio efetiva do dólar americano, representada pela SDR, possui relação negativa com preço do ouro, da mesma forma que a aceleração da inflação também implica em uma elevação do preço do metal. Incrementos na produção global de ouro, por outro lado, pressionam negativamente o preço do ouro. Mais precisamente, tudo o mais constante, em média, a cada 1 ponto percentual (p.p.) de aumento da SDR (apreciação do USD), do índice de preço ao consumidor americano e da produção global de ouro, o preço do ouro varia -1,16 p.p., 0,73 p.p. e -1,19 p.p., respectivamente.

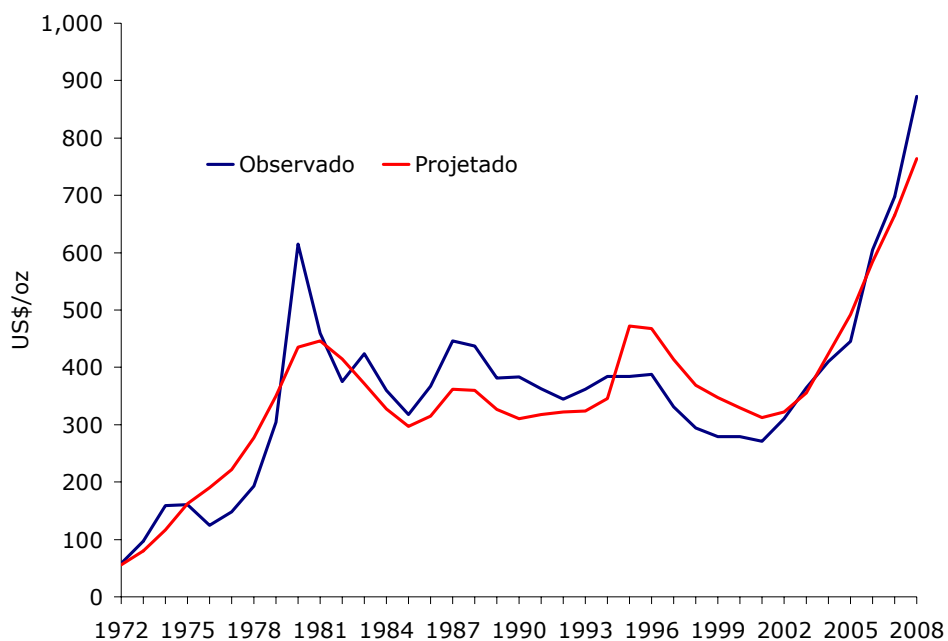
O modelo possui um poder de explicação medido pelo coeficiente de determinação múltiplo,  $R^2$ , de cerca de 0,92, ou seja, a regressão ajustada explica cerca de 92% das variações no preço do ouro (tabela A-6 do apêndice estatístico).



## CAPÍTULO III - PREVISÕES

Uma das mais importantes funções da estimação de modelos de séries temporais é a possibilidade de podermos gerar previsões a partir do modelo construído. O gráfico abaixo mostra as previsões de preços dentro da amostra geradas a partir do modelo.

**Figura 7: Ajuste do modelo**



Para gerar previsões fora da amostra, mais precisamente de 2009 até 2012, é necessária a estimação das variáveis explicativas<sup>8</sup> para esses anos, visto que o modelo em questão utiliza dados de um certo ano  $t$  para explicar o preço do ouro no próprio ano  $t$ . Adotaremos então essas estimativas como premissas para nossas previsões.

O USD apresentou uma clara tendência de desvalorização nos últimos anos, tendência essa que se sustentou até o segundo semestre de 2008, quando uma forte crise de confiança e aversão ao risco fez com que o USD ganhasse força nos últimos meses. Esse novo cenário vem se mantendo, e com exceção de algumas poucas moedas como o iene, o franco suíço e o renmbimbi, deve se apreciar frente as moedas de seus principais parceiros comerciais. Sendo assim, após sofrer desvalorização nos anos de 2007 e 2008, esperamos que a cotação das *SDR's* em USD ganhe força em 2009. Em 2010, com a recuperação da economia mundial e a redução da aversão ao risco espera-se que o USD volte a se desvalorizar. Em 2011 e 2012, consideramos que o USD fique constante.

A fraca demanda interna e externa, gerada pela crise internacional vem derrubando as taxas de inflação mundial. A atual recessão seguiu um longo período de crescimento econômico com elevada taxa de investimento para atender a forte demanda. Sendo assim, a repentina e forte retração da demanda somada aos fortes investimentos realizados nos últimos anos, causou uma drástica redução no nível de capacidade utilizada pela indústria, refletindo em altos estoques e consequente queda de preços (*commodities*, em especial) que em meados de 2008 atingiram suas maiores taxas em décadas em diversos países. Nesse cenário, de fraca demanda principalmente no primeiro semestre de 2009, trabalharemos com uma taxa de inflação para o consumidor americano de 0,0% em 2009, uma vez que a retomada da demanda no segundo semestre deve, pelo menos em parte, compensar a primeira metade do ano. Em 2010 em diante, trabalhamos com o índice médio de preços ao consumidor dos EUA se elevando gradualmente.

A forte redução da demanda por produtos manufaturados, bem como a desaceleração do crescimento da renda de *per capita* em alguns países, deve fazer com que a produção de ouro se retraia fortemente em 2009, tendo em vista o ajuste a redução da demanda por bens eletrônicos e por jóias. Além disso, o elevado preço do ouro praticado nos últimos meses deve fazer com que a venda de sucata aumente relativamente a extração mineira. Por fim, graves barreiras de infra-estrutura em importantes países produtores atua como um forte entrave a expansão dessa fonte de oferta. Trabalhamos com a produção de ouro extraída das minas se retraindo em 2009, mantendo-se constante em 2010 e se elevando nos anos seguintes.

A tabela abaixo sumariza as premissas adotadas, bem como os preços previstos pelo modelo.

**Tabela 3: Premissas e preço médio do ouro**

		2008	2009E	2010E	2011E	2012E
SDR	Cesta de moedas	0,63	0,66	0,64	0,64	0,64
CPI	%	3,8	0,0	1,0	2,0	2,0
Produção	toneladas	2.253	2.073	2.073	2.135	2.306
Preço médio do ouro	US\$/oz	872	945	1.034	1.066	998

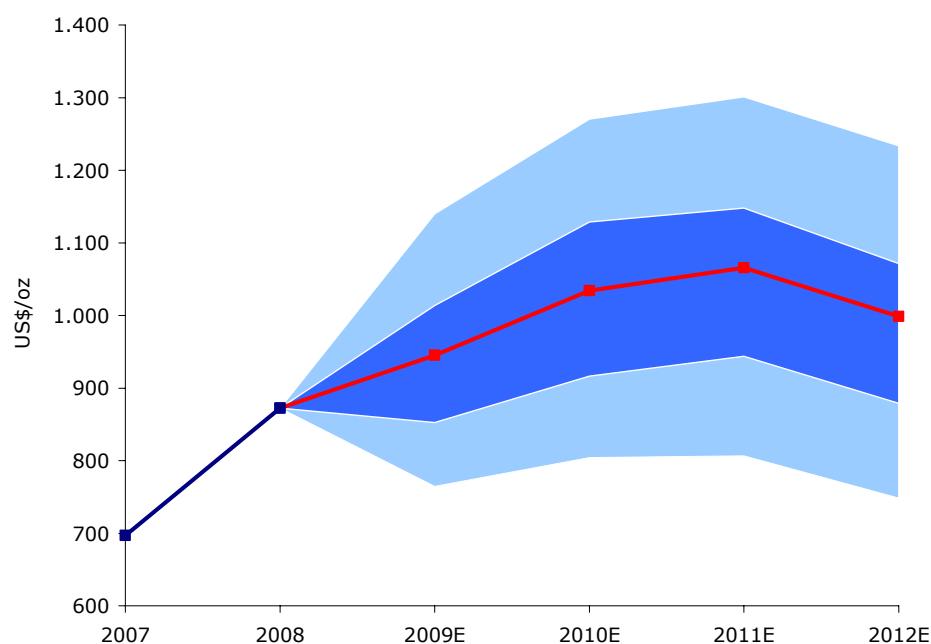
Fonte: FMI, US Bureau of Labor Statistics, GFMS e Bloomberg

As estimativas geradas pelo modelo apontam um preço médio para o ouro em 2009 de US\$ 945/oz, alta de 8,4% frente o preço médio de 2008. Em 2010 e 2011, a aceleração da inflação e o enfraquecimento do USD devem fazer com que o preço médio do ouro se eleve

<sup>8</sup> As premissas adotadas para a cotação da SDR, do CPI e da produção de ouro foram baseadas em relatórios de bancos e consultorias especializadas no assunto.

ainda mais, para US\$ 1.034/oz e US\$ 1.066/oz, respectivamente. Em 2012, o preço médio do ouro deve recuar para US\$ 998/oz.

**Figura 8: Intervalos de confiança para o preço do ouro**



O gráfico acima mostra o intervalo de probabilidade estimado para o preço médio do ouro nos próximos quatro anos. Cada banda corresponde a probabilidade de 20% para o preço do ouro, de forma que a probabilidade total do área sombreada é de 80%. Ou seja, o preço médio do ouro tem uma probabilidade de 80% de ficar entre US\$ 765/oz e US\$ 1.140/oz em 2009. A tabela a seguir traz os preços da banda inferior e superior estimada para o preço do ouro.

**Tabela 4: Preço médio do ouro estimado (US\$/oz) – probabilidade de 80%**

	2009E	2010E	2011E	2012E
Limite superior	1.140	1.271	1.301	1.234
Preço base	945	1.034	1.066	998
Limite inferior	765	804	807	748

## CONCLUSÃO

O ouro vem se mostrando uma reconhecida fonte de reserva de valor. Desse modo, sua demanda é fortemente determinada por indicadores macroeconômicos, como câmbio, inflação e taxas de juros etc. Evidentemente, o desempenho da atividade industrial, assim como em outras *commodities* afeta o preço do ouro, determinando, por exemplo, o ritmo de expansão da extração dos principais produtores.

Estimamos um modelo capaz de explicar e prever o preço do ouro, de forma que os principais fatores explicativos confirmam a hipótese apresentada no capítulo introdutório de que o preço é explicado em grande parte por fatores macroeconômicos.

Outros fatores também contam para a atual aceleração do preço do metal. A elevação da renda per capita, principalmente em países emergentes como a China afeta positivamente o preço. A Índia, em particular, desempenha um papel muito importante nesse mercado como já mencionado no primeiro capítulo. A manutenção de costumes milenares relacionados com o ouro naquele País ainda influencia o mercado, como o maior consumidor de ouro do mundo.

A oferta do metal, no entanto, vem sofrendo alguns entraves que vale a pena serem citados. Os problemas relacionados a infra-estrutura de energia na África do Sul, a dificuldade cada vez maior em se encontrar ativos de grande qualidade, o crédito cada vez mais escasso para poder financiar novos projetos, são fatores que preocupam investidores e consumidores e levantam dúvidas quanto ao preço do ouro no futuro.

## APÊNDICE ESTATÍSTICO

**Tabela A-1 – Teste ADF para OURO**

Hipótese nula: OURO possui raiz unitária				
Variável exógena: constante, tendência linear				
Defasagem:8 (MAXLAG=13)				
			Estatística-t	Prob.*
Estatística do teste Dickey-Fuller Aumentado			-1,324318	0,8614
Valores críticos:	nível de 1%		-4,309824	
	nível de 5%		-3,574244	
	nível de 10%		-3,221728	
* p-valores unilaterais de MacKinnon (1996).				
Equação do Teste Dickey-Fuller Aumentado				
Variável dependente: D(OURO)				
Método: Mínimos quadrados				
Amostra (ajustada): 1973 2008				
Observações incluídas: 29 depois de ajustes				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística-t	Prob.
OURO(-1)	-0,480166	0,362576	-1,324318	0,2020
D(OURO(-1))	0,472261	0,316932	1,490105	0,1535
D(OURO(-2))	0,253672	0,320205	0,792218	0,4386
D(OURO(-3))	0,545351	0,295747	1,843978	0,0817
D(OURO(-4))	0,224572	0,310034	0,724345	0,4782
D(OURO(-5))	0,236191	0,278367	0,848489	0,4073
D(OURO(-6))	0,340999	0,273127	1,248502	0,2278
D(OURO(-7))	0,362361	0,254566	1,423447	0,1717
D(OURO(-8))	0,269422	0,264449	1,018802	0,3218
C	49,79136	125,9777	0,395239	0,6973
@TREND(1971)	5,609755	2,577345	2,176563	0,0431
R <sup>2</sup>	0,301405	Média da var dependente	19,57154	
R <sup>2</sup> ajustado	-0,086703	Var dependente D.P.	87,61612	
S.E. da regressão	91,33545	Critério de Akaike	12,14865	
Soma dos resíduos quadrados	150159,0	Critério de Schwarz	12,66728	
Probabilidade Log	-165,1555	Estatística-F	0,776602	
Estatística Durbin-Watson	1,748985	Prob(Estatística-F)	0,650085	

**Tabela A-2 - Teste ADF para SDR**

Hipótese nula: SDR possui raiz unitária  
 Variável exógena: constante, tendência linear  
 Defasagem:2 (MAXLAG=13)

	Estatística-t	Prob.*
Estatística do teste Dickey-Fuller Aumentado	-1,165288	0,6782
Valores críticos:		
nível de 1%	-3,632900	
nível de 5%	-2,948404	
nível de 10%	-2,612874	

\* p-valores unilaterais de MacKinnon (1996).

Equação do Teste Dickey-Fuller Aumentado  
 Variável dependente: D(SDR)  
 Método: Mínimos quadrados  
 Amostra (ajustada): 1973 2008  
 Observações incluídas: 35 depois de ajustes

Variável	Coefficiente	Erro padrão	Estatística-t	Prob.
SDR(-1)	-0,087825	0,075368	-1,165288	0,2528
D(SDR(-1))	0,545069	0,160128	3,403958	0,0019
D(SDR(-2))	-0,283749	0,161594	-1,755938	0,0890
C	0,064034	0,059386	1,078268	0,2892
R <sup>2</sup>	0,295125	Média da var dependente	-0,005815	
R <sup>2</sup> ajustado	0,226911	Var dependente D.P.	0,040166	
S.E. da regressão	0,035316	Critério de Akaike	-3,741739	
Soma dos resíduos quadrados	0,038664	Critério de Schwarz	-3,563985	
Probabilidade Log	69,48043	Estatística-F	4,326479	
Estatística Durbin-Watson	1,949625	Prob(Estatística-F)	0,011676	

**Tabela A-3 - Teste ADF para CPI**

Hipótese nula: CPI possui raiz unitária		
Variável exógena: constante, tendência linear		
Defasagem: 1 (MAXLAG=13)		
	Estatística-t	Prob.*
Estatística do teste Dickey-Fuller Aumentado	-3,319739	0,0792
Valores críticos:		
nível de 1%	-4,234972	
nível de 5%	-3,540328	
nível de 10%	-3,202445	

\* p-valores unilaterais de MacKinnon (1996).

Equação do Teste Dickey-Fuller Aumentado  
 Variável dependente: D(CPI)  
 Método: Mínimos quadrados  
 Amostra (ajustada): 1973 2008  
 Observações incluídas: 36 depois de ajustes

Variável	Coefficiente	Erro padrão	Estatística-t	Prob.
CPI(-1)	-0,200700	0,060456	-3,319739	0,0023
D(CPI(-1))	0,731455	0,120026	6,094120	0,0000
C	8,137567	2,018213	4,032066	0,0003
@TREND(1971)	0,941450	0,283222	3,324067	0,0022
R <sup>2</sup>	0,562094	Média da var dependente	4,817361	
R <sup>2</sup> ajustado	0,521040	Var dependente D.P.	1,720148	
S.E. da regressão	1,190461	Critério de Akaike	3,290998	
Soma dos resíduos quadrados	45,35035	Critério de Schwarz	3,466945	
Probabilidade Log	-55,23797	Estatística-F	13,69168	
Estatística Durbin-Watson	1,517924	Prob(Estatística-F)	0,000006	

**Tabela A-4 - Teste ADF para PROD**

Hipótese nula: PROD possui raiz unitária		
Variável exógena: nenhuma		
Defasagem: 0 (MAXLAG=13)		
	Estatística-t	Prob.*
Estatística do teste Dickey-Fuller Aumentado	-1,521911	0,8037
Valores críticos:		
nível de 1%	-4,226815	
nível de 5%	-3,536601	
nível de 10%	-3,200320	

\* p-valores unilaterais de MacKinnon (1996).

Equação do Teste Dickey-Fuller Aumentado  
 Variável dependente: D(PROD)  
 Método: Mínimos quadrados  
 Amostra (ajustada): 1973 2008  
 Observações incluídas: 37 depois de ajustes

Variável	Coefficiente	Erro padrão	Estatística-t	Prob.
PROD(-1)	-0,129659	0,085195	-1,521911	0,1373
C	160,1829	96,77116	1,655275	0,1071
@TREND(1971)	5,301555	3,842982	1,379542	0,1767
R <sup>2</sup>	0,063794	Média da var dependente	21,70343	
R <sup>2</sup> ajustado	0,008723	Var dependente D.P.	102,3679	
S.E. da regressão	101,9205	Critério de Akaike	12,16387	
Soma dos resíduos quadrados	353184,8	Critério de Schwarz	12,29448	
Probabilidade Log	-222,0316	Estatística-F	1,158388	
Estatística Durbin-Watson	1,637271	Prob(Estatística-F)	0,326075	



**Tabela A-5 - Teste Engle-Granger para RESID**

Hipótese nula: RESID possui raiz unitária  
 Variável exógena: nenhuma  
 Defasagem: 0 (MAXLAG=13)

	Estatística-t	Prob.*
Estatística do teste Dickey-Fuller Aumentado	-4,468162	0,0000
Valores críticos:	nível de 1%	-2,630762
	nível de 5%	-1,950394
	nível de 10%	-1,611202

\* p-valores unilaterais de MacKinnon (1996).

Equação do Teste Dickey-Fuller Aumentado  
 Variável dependente: D(RESID)  
 Método: Mínimos quadrados  
 Amostra (ajustada): 1973 2008  
 Observações incluídas: 36 depois de ajustes

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística-t	Prob.
RESID(-1)	-0,732295	0,163892	-4,468162	0,0001
R <sup>2</sup>	0,363171	Média da var dependente		0,001652
R <sup>2</sup> ajustado	0,363171	Var dependente D.P.		0,181218
S.E. da regressão	0,144615	Critério de Akaike		-1,002105
Soma dos resíduos quadrados	0,731968	Critério de Schwarz		-0,958118
Probabilidade Log	19,03789	Estatística Durbin-Watson		1,846455

**Tabela A-6 - Estimação do modelo de preço do ouro**

Variável dependente: LOG(OURO)				
Método: Mínimos quadrados				
Amostra (ajustada): 1972 2008				
Observações incluídas: 37 depois de ajuste				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística-t	Prob.
C	7,714362	1,703904	4,527463	0,0001
LOG(OURO(-1))	0,559354	0,103422	5,408448	0,0000
LOG(SDR)	-1,156614	0,332608	-3,477403	0,0015
LOG(CPI)	0,732349	0,263258	2,781863	0,0090
LOG(PROD)	-1,188621	0,318516	-3,731744	0,0007
R <sup>2</sup>	0,924054	Média da var dependente	5,758603	
R <sup>2</sup> ajustado	0,914560	Var dependente D.P	0,537542	
S.E. da regressão	0,157124	Critério de Akaike	-0,738476	
Soma dos resíduos quadrados	0,790014	Critério de Schwarz	-0,520784	
Probabilidade Log	18,66180	Estatística-F	97,33743	
Estatística Durbin-Watson	1,455028	Prob(Estatística-F)	0,000000	

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUTTERMAN, W.C.; AMEY III, Earle B. Mineral Commodity Profiles – Gold. Reston, Virginia, EUA. US Geological Survey, 2005 (Open-File Report 02-303).

CAPIE, Forrest; MILLS, Terence C.; WOOD, Geoffrey. Gold as a hedge against the US dollar. Londres, Inglaterra. World Gold Council, 2004 (Texto para discussão, n.30).

DEMPSTER, Natalie. The role of gold in India. GFMS Analytics. World Gold Council, setembro 2006. Disponível em: [http://www.gold.org/deliver.php?file=/rs\\_archive/the\\_role\\_of\\_gold\\_in\\_india.pdf](http://www.gold.org/deliver.php?file=/rs_archive/the_role_of_gold_in_india.pdf). Acesso em: 20 ago. 2008.

DEMPSTER, Natalie. What does a US recession imply for the gold price?. GFMS Analytics. World Gold Council, abril 2008. Disponível em:

[http://www.gold.org/deliver.php?file=/rs\\_archive/gold\\_in\\_us\\_recession.pdf](http://www.gold.org/deliver.php?file=/rs_archive/gold_in_us_recession.pdf). Acesso em: 20 ago. 2008.

ECB Press release – Joint Statement, 8 March 2004. Disponível em: [www.reserveasset.gold.org/central\\_bank\\_agreement/cbga2/](http://www.reserveasset.gold.org/central_bank_agreement/cbga2/). Acesso em: 13 dez. 2008

GUJARATI, Damodar. Econometria Básica. Sao Paulo. Campus, 2006.

HARMSTON, Stephen. Gold as a store of value. Londres. World Gold Council, 1998 (Texto para discussão, n.22).

KETTLE, Peter. The size and structure of metals markets: how gold compares with other non-ferrous metals. CRU Analysis. World Gold Council, agosto 2005. Disponível em: [http://www.gold.org/assets/file/rs\\_archive/metals\\_market\\_aug\\_05.pdf](http://www.gold.org/assets/file/rs_archive/metals_market_aug_05.pdf). Acesso em: 21 set. 2008.

LEVIN, Eric J.; WRIGHT, Robert E.. Short-run and Long-run Determinants of the Price of Gold. Londres, Inglaterra. World Gold Council, 2006 (Texto para discussão, n.32).

MCQUEEN, Grant.; THORLEY, Steven. Do investors learn? Evidence from a gold market anomaly. The Financial Review, Vol.32, No.3, pp. 501-525, August 1997.

O'CONNELL, Rhona. What sets the precious metals apart from other commodities?. GFMS Analytics. World Gold Council, dezembro 2005. Disponível em: [http://www.gold.org/deliver.php?file=/rs\\_archive/precious\\_metals\\_nov\\_05.pdf](http://www.gold.org/deliver.php?file=/rs_archive/precious_metals_nov_05.pdf). Acesso em: 20 ago. 2008.

RANSON, David. Why gold, not oil, is the superior predictor of inflation. H. C. Wainwright & CO. Economics. World Gold Council, novembro 2005. Disponível em:

[http://www.gold.org/deliver.php?file=/rs\\_archive/gold\\_not\\_oil\\_inflation.pdf](http://www.gold.org/deliver.php?file=/rs_archive/gold_not_oil_inflation.pdf). Acesso em: 22 ago. 2008.

SJAASTAD, Larry A.; SCACCIAVILANNI, Fabio. The price of gold and the exchange rate. Journal of International Money and Finance, Vol. 15, No. 6, pp. 879-897. Elsevier Science Ltd, 1996.

WORLD GOLD COUNCIL; Official Gold Holdings, dezembro de 2008; p.1-2